

# Conference on wire ropes in mines

tenue à Ashorne Hill (Leamington Spa) du 19 au 22 septembre 1950.

Compte rendu par Y. VERWILST,

Directeur général de l'Association des Industriels de Belgique.

## SAMENVATTING

Getrouw aan een der punten van zijn doelstelling, brengt Inchar heden verslag uit over de Conferentie over de ophaalkabels der mijnen, ingericht van 19 tot 22 September door het Engels Instituut voor de Mijnen en de Metallurgie. Deze bijeenkomst was de belangrijkste in haar domein sinds tientallen jaren.

De huidige synthese van de werkzaamheden dezer bijeenkomst ist van de heer Y. VERWILST, Directeur-Generaal van de « Association des Industriels de Belgique », die er met zijn bekende bevoegdheid de nodige lessen uittrekt.

Al de mededelingen werden vooraf aan het Secretariaat van het Instituut voor de Mijnen en de Metallurgie gezonden, waar ze gedrukt werden en rondgestuurd aan al de deelnemers aan de Conferentie. Deze waren aldus op de hoogte van de tekst van de ingediende werken en de vergaderingen werden besteed aan de bespreking van de verschillende kwesties die in de mededelingen behandeld werden.

De besprekingen betroffen vooral de samenstelling en de vervaardiging van de mijnophaalkabels (gesloten en gewone kabels), de fabricatie van de staaldraad voor die kabels, de opwindingsvoorwaarden van de kabels op de ophaalmachines, de bedrijfsvoorwaarden van de kabels bij de verschillende stelsels van ophaalmachines en in verband met de geleidingssystemen van de kooien in de schachten, de veiligheidscoëfficiënt, de Koepe-inrichtingen, de dynamische tril- en slingerbelastingen van de kabels, de bedrijfsduur der kabels, de invloed van de vermoeienis, van de corrosie, van de sleet, de rek, het draaien, de invloed van de groef der schijven, de vergelijking tussen het gedrag van de kabels op platte en gegleufde trommels evenals bij opwinding in meervoudige lagen, de vorming van ontwrichtingen (kurketrekkers en lantaarnen) vooral bij gesloten kabels, de controle en het onderhoud van de ophaalkabels, de smering, de kabelklemmen, de beproevingen in dienst, de beproevingsmethoden der kabels en de reglementaire bepalingen in de verschillende landen.

In de huidige nota vat de auteur de verschillende mededelingen samen, en zet vervolgens enkele conclusies vooruit over de punten die meer bepaald de Belgische mijnnijverheid betreffen. Daaronder dienen aangehaald :

- 1) De fabricatie van draden in basisch staal, waarvan de huidige kwaliteit nagenoeg gelijkwaardig is aan de draden in zuur staal. Hoe groter hun plasticiteit, hoe gunstiger hun gedrag tijdens de dienst.
- 2) De triomf van het procédé Warrington en Seale bij de fabricatie van kabels.
- 3) Belangrijke inlichtingen over de werking van een gesloten kabel op een Koepe-inrichting der mijn « Murton ».
- 4) De vooruitgang in de controle van de dynamische belastingen der kabels, door het gebruik van toestellen voor de registratie der ogenblikkelijke belastingen, onder de kabelschijven geplaatst.
- 5) Beschouwingen over de « capaciteitsfactor » die de notie van de veiligheidscoëfficiënt schijnt te zullen verdringen voor diepe schachten.
- 6) De controle van de kabels in dienst, door middel van niet destructieve methodes, namelijk door electronische procédé's (Canada, Ruhr, Nederland) zoals de electromagnetische detector van gebroken draden, in gebruik bij de Staatsmijnen in Nederland, en de cyclograaf, in dienst op de mijnen van Nieuw Schotland en Canada.
- 7) De Belgische methode van opening der kabels in dienst, die toelaat de zekerheit en de dienstduur der kabels te verlengen en die een levendige belangstelling heeft opgewekt.

- 8) Een stelsel bedoeld om de uitrekking van de kabels tijdens het laden van de kooi in de ondergrond bij Koepe-inrichtingen, te compenseren. Dit stelsel werd bijgewerkt door A. BURGEMEESTER, van de Werktuigkundige Dienst der Staatsmijnen.
- 9) De toevoeging van inhibitoren aan de lichte smeerstoffen, die de smering der kabels verbetert en bemoedigende resultaten oplevert.
- 10) De noodzakelijkheid de apparaten voor de beproeving der draden te normaliseren, evenals de beproevingsmethoden en de wijze van interpretatie van de uitslagen.

### AVANT-PROPOS

Fidèle à l'un des points de son programme, Inchar rend compte aujourd'hui des travaux de la Conférence sur les câbles de mines, organisée du 19 au 22 septembre 1950 par l'Institut Anglais des Mines et de la Métallurgie. Cette réunion fut la plus importante en la matière depuis de nombreuses décades.

Les Institutions anglaises suivantes ont collaboré à l'organisation de la Conférence :

- L'Institut des Ingénieurs mécaniciens;
- L'Institut des Ingénieurs des Mines;
- Le Ministère du Combustible et de l'Energie;
- Le National Coal Board;
- L'Association de Recherches Britannique du Fer et de l'Acier;
- La Fédération des Fabricants de câbles de Grande-Bretagne;
- L'Association des Fabricants de câbles clos;
- L'Association des Fabricants de machines d'extraction.

La synthèse des travaux, présentée aujourd'hui, est l'œuvre de M. Y. Verwilt, Directeur général de l'A.I.B., qui, avec sa compétence habituelle, a bien voulu dégager les enseignements de cette réunion.

Plus de 400 délégués assistaient aux séances d'études. On y remarquait de nombreuses personnalités représentant toute l'industrie anglaise et particulièrement l'industrie des machines d'extraction, des câbles de mines et des tréfileurs, de nombreux représentants des organisations de l'Etat (Ministère de l'Energie et du Combustible, National Coal Board et Associations de recherches), des délégués de tous les pays du Commonwealth, des Etats-Unis et de nombreuses personnalités venues d'Allemagne, Belgique, Danemark, France, Hollande, Irlande, Italie, Grand-Duché de Luxembourg, Norvège, Sarre et Suède.

La délégation belge était composée de :

- MM. Y. Verwilt, Directeur général de l'Association des Industriels de Belgique;
- L. Brison, Professeur d'Exploitation des Mines à la Faculté Polytechnique de Mons;
- L. Lepage, Directeur de la Société Anonyme Sambre-Escaut;
- P. Stassen, Ingénieur en Chef à l'Institut National de l'Industrie Charbonnière, à Liège;
- P. Wattecamp, B. Sc. Eng. Un. of London Adjoint de M. Verwilt.

Les mémoires présentés étaient les suivants :

- 1) Manufacture et propriétés des fils métalliques pour câbles, par R.S. Brown;

- 2) Les câbles en acier utilisés pour l'extraction, par l'Association des Fabricants de câbles du Royaume-Uni;
- 3) La pratique des câbles d'extraction dans les charbonnages anglais, par B.L. Metcalf;
- 4) La pratique des câbles d'extraction dans les Mines de l'Ontario, par le Comité des Câbles d'Extraction de l'Association Minière de l'Ontario;
- 5) La pratique des câbles d'extraction dans le Witwatersrand, par J. Dolan, W.G. Jackson et L.T. Campbell Pitt.
- 6) Quelques aspects de la pratique des câbles d'extraction américains, par H.A. Walker et Josiah Gerrans;
- 7) L'extraction à grande profondeur dans le Kolar Gold Field, par J.W.P. Chalmers et A.H.P. Fitzpatrick;
- 8) Etude sur les essais de fils pour câbles d'extraction, par P. Teissier;
- 9) La pratique des câbles d'extraction en Belgique, par Y. Verwilt;
- 10) Les câbles d'extraction Koepe pour puits principaux dans les Pays-Bas, par J.W. Kleinbentink;
- 11) Les câbles d'extraction dans la Ruhr, par H. Herbst;
- 12) Efforts dynamiques dans les câbles d'extraction pour puits verticaux, par P.J. Pollock et G.W. Alexander;
- 13) Accidents aux câbles d'extraction dans la pratique des charbonnages anglais, par A.E. McClelland;
- 14) Les recherches en matière de câbles d'extraction à la Fondation de Recherches de l'Ontario, par I.A. Usher et L.W. Sproule;
- 15) La pratique des essais des câbles d'extraction dans les mines métallifères du Queensland, Australie, par I.W. Morley;
- 16) Comparaison des réglementations des différents pays, particulièrement au point de vue des coefficients de sécurité, par M.A. Hogan;
- 17) L'enroulement en couches multiples des câbles clos utilisés pour l'extraction par skips à la mine de Broken Hill South Lid, par M.C. Crace et E. Goninan;
- 18) Le contrôle électronique des câbles d'extraction, par W. Simpson.

Cette liste des mémoires et les noms de leurs auteurs indiquent nettement l'ampleur avec laquelle le sujet a été traité. La Conférence donne une bonne vue d'ensemble de la question de la fabrication et de l'utilisation des câbles de mines dans le monde entier.

Tous les mémoires ont été préalablement envoyés au Secrétariat de l'Institut des Mines et de la Métallurgie où ils ont été imprimés et de là

envoyés, en temps utile, à tous les participants à la Conférence. Ceux-ci étaient donc au courant du texte des travaux soumis et les réunions ont été consacrées à la discussion des différentes questions traitées dans les mémoires.

Ces discussions eurent principalement pour objet la composition, la construction et la fabrication des câbles d'extraction (ordinaires et clos), la fabrication des fils pour câbles d'extraction, les conditions d'enroulement des câbles sur les machines d'extraction, les conditions de marche des câbles sur les différents systèmes de machines et en relation avec les systèmes de guides dans les puits, les coefficients de sécurité, les installations Koepe, les efforts dynamiques vibratoires et oscillatoires dans les câbles, le temps de service des câbles, l'influence de la fatigue, de la corrosion, de l'usure, les allongements, la giration, l'influence des gorges de poulies et des molettes, la comparaison du comportement des câbles sur tambours plats et rainurés et à enroulements multiples, la formation, principalement dans les câbles clos, des ondulations (tire-bouchonnage) et des paniers à salade (lanternes), le contrôle et l'entretien des câbles d'extraction, le graissage, les attaches des cages et les essais en service, les méthodes d'essais des câbles, les spécifications réglementaires dans les différents pays.

Tous les mémoires in extenso ainsi que les discussions feront l'objet d'un ouvrage publié par l'Institut Anglais des Mines et de la Métallurgie; il coûte £ 2 sh 10 et les commandes peuvent être adressées au Secrétariat de « The Institution of Mining and Metallurgy », Salisbury House, Finsbury Circus, London E.C. 2. Cet ouvrage constituera une documentation unique au sujet de toutes les questions énumérées ci-dessus; nous croyons bon d'en recommander instamment l'acquisition à tous ceux qui sont intéressés par cette matière.

Dans la présente note, l'auteur résume les différents mémoires, puis il émet quelques conclusions sur les points qui intéressent particulièrement l'industrie minière belge. Parmi ces points, il y a lieu de citer :

- 1) La fabrication des fils d'acier basique, dont la qualité actuelle est sensiblement équivalente à celle des fils en acier acide — Plus leur plasticité est grande, mieux ils se comportent en service;
- 2) Le triomphe des procédés Warrington et Seale dans la fabrication des câbles;
- 3) Des renseignements intéressants sur le fonctionnement d'un câble clos équipant une installation Koepe à la mine Murton;
- 4) Les progrès réalisés dans le contrôle des efforts dynamiques dans les câbles par l'utilisation d'appareils enregistreurs des efforts instantanés, placés en dessous des molettes;
- 5) Des considérations intéressantes sur le « facteur de capacité », qui tend à remplacer la notion du « coefficient de sécurité » pour les puits profonds;
- 6) Le contrôle des câbles en service par des essais non destructifs et notamment par les procédés électroniques (Canada, Ruhr, Pays-Bas), à savoir : l'appareil électromagnétique détecteur

- de fils brisés, employé dans une mine d'État en Hollande, et le cyclographe, en service dans les mines de la Nouvelle-Ecosse, au Canada;
- 7) La méthode belge de l'ouverture des câbles en service, qui a permis d'augmenter la sécurité et la durée des câbles; elle a suscité un vif intérêt;
- 8) Un système destiné à égaliser l'allongement du câble pendant le chargement de la cage du fond, dans les installations Koepe. Ce dispositif a été mis au point par A. Burgemeester, du Département mécanique des Staatsmijnen;
- 9) L'addition d'agents « inhibiteurs » aux lubrifiants légers, qui améliore le graissage des câbles et donne des résultats encourageants;
- 10) La nécessité de normaliser les machines et les méthodes d'essais sur fils et les façons d'interpréter les résultats.

### N° 1.

#### Manufacture et propriétés des fils métalliques pour câbles, par R.S. BROWN.

Ce mémoire ne décrit pas la fabrication des fils pour câbles d'extraction, étant donné que de nombreux ouvrages ont déjà traité cette question, mais examine seulement l'influence que le tréfileur peut avoir sur la vie des câbles; il fait quelques remarques à ce sujet et, en particulier, à propos de l'acier employé, des fils-machine, du procédé dit de « patentage » et des progrès réalisés dans la lutte contre la corrosion par l'utilisation du fil traité par galvanisation et subissant ensuite une passe de tréfilage.

On peut améliorer également la résistance à l'usure par des procédés particuliers de fabrication de même que la résistance à la fatigue; l'auteur insiste particulièrement sur ce point: tout traitement conduisant à un état élevé de plasticité améliore les propriétés du fil.

### N° 2.

#### Les câbles en acier utilisés dans la pratique de l'extraction, par l'Association des Fabricants de Câbles du Royaume-Uni.

Ce mémoire commence par un bref aperçu historique de la fabrication des câbles d'extraction, qui ne donne aucune indication technique bien définie en rapport avec la construction actuelle des câbles. Il est suivi d'un chapitre traitant de la composition de tous les câbles métalliques ronds bien connus, des câbles plats en fils ronds, ainsi que des câbles clos en fils profilés.

Les câbles doivent pouvoir absorber les efforts dynamiques et cette propriété est liée à leur élasticité.

Il est plus important d'avoir un câble élastique qu'un câble à grand coefficient de sécurité, qui ne représente pas nécessairement sa capacité de résister aux diverses sollicitations de service.

Le mémoire décrit les différentes machines utilisées en câblerie et les précautions qu'il y a lieu de prendre dans la fabrication des différents systèmes de câbles, les dispositifs utilisés pour la construction des câbles dont les fils et torons sont, avant ou après fabrication, assurés contre toute déformation ultérieure provenant de la nervosité des fils.

Le rapport passe en revue les modes de graissage, la fabrication des âmes ainsi que les méthodes modernes relatives aux constructions Seale, Warrington, avec fils de remplissage, etc... Il traite aussi de la fabrication des câbles à torons plats et triangulaires, ainsi que les câbles clos avec fils profilés.

Un chapitre très intéressant également est celui relatif aux comparaisons entre les essais sur éprouvettes entières avec amarrage direct entre les mâchoires des têtes de la machine et par culottage au moyen de métal blanc des extrémités de l'éprouvette, entre essais sur éprouvettes entières et ceux sur fils ou sur torons; les résultats de ces essais permettent de déduire la perte au câblage.

La première partie se termine par des indications sur l'emmagasinage des câbles de mines et sur le placement des câbles sur les tambours cylindriques.

La seconde partie débute par la comparaison des avantages et désavantages des tambours bicylindriques, cylindriques parallèles et des poulies Koepe. Il y est procédé à une analyse des facteurs qui influent sur la vie des câbles les plus couramment utilisés, câbles à torons ronds, à torons triangulaires et câbles clos; le câble clos semble le plus indiqué pour les installations de tambours cylindriques à couches d'enroulements multiples et pour les installations où la pression unitaire sur le câble est relativement élevée.

Les principaux facteurs examinés sont les rayons d'enroulement initial et final sur les différents tambours, la pression unitaire sur le câble à l'enlèvement du fond, la largeur du tambour et son influence sur l'angle de déflexion en même temps que sur l'augmentation possible du rayon initial d'enroulement, la nature de la surface des appareils d'enroulement, acier ou douves en bois, les efforts de détorsion de la couche extérieure du câble par suite des frottements dans les rainures des appareils et des différentes spires de câble l'une sur l'autre, lors de l'enroulement sur les tambours.

En ce qui concerne les câbles utilisés sur poulie Koepe, des comparaisons intéressantes sont données sur l'utilisation des différents types de câbles, à torons ronds, à torons triangulaires de fabrication ordinaire et de fabrication Seale et câbles clos utilisés sur poulie motrice située au sol ou dans le chevalement, ainsi que sur les sollicitations diverses que subissent les câbles d'après la nature de ces installations.

Le mémoire insiste sur l'importance de la fabrication appropriée des câbles qui fonctionnent sur poulies Koepe du fait que, dans ce type d'installation, la transmission du couple de la poulie motrice au câble s'effectue par la surface du câble via les fils extérieurs: dès lors, si le câble est

« mou », tout mouvement léger répété des fils extérieurs durant la transmission des forces sera cause de tensions locales supplémentaires.

Les considérations relatives au fonctionnement d'un câble clos sur installation Koepe à la mine de Murton sont du plus haut intérêt. De plus amples renseignements concernant cette installation sont donnés dans la publication « Câbles d'extraction pour installations Koepe. - Détermination du coefficient de frottement », par H. Hitchen et G.H. Boden (*Iron Coal Tr. Rev.*, 155, 1947, 1155) et dans l'article « Considérations sur le câble d'extraction Koepe », par H. Hitchen (*Revue Pact*, n° 3 - juin 1950, p. 254, n° 4 - août 1950, p. 552, n° 5 - octobre 1950, p. 400).

Après quelques considérations sur les câbles d'équilibre, les câbles-guides et l'influence de l'enroulement en câble haut et en câble bas sur la vie des câbles, les auteurs donnent un compte rendu très intéressant sur les mesures des efforts dynamiques dans les câbles d'extraction, effectuées en Angleterre, et les enseignements qui en ont été déduits pour améliorer la marche des installations.

Les appareils, qui ont été utilisés sont le « Cambridge decelerometer », le « micro-strain gauge » et le « microtensiometer » (Voir *Paper* n° 78, *Safety in Mines Research Board*).

Des améliorations importantes aux guides des cages, notamment par le placement de rouleaux en caoutchouc, ainsi qu'aux guidonnages dans les puits, ont permis d'obtenir des conditions de fonctionnement beaucoup meilleures pour les câbles.

Un point très important, que les auteurs ne font qu'effleurer, est celui du « facteur de capacité » qui, pour les puits profonds, surtout en Afrique du Sud, tend à détrôner la notion de « coefficient de sécurité ». On choisit un coefficient de sécurité à l'attache du câble à la cage (charge de rupture du câble, divisée par le poids de la cage chargée au maximum, plus le poids des attirails), dépendant de la longueur du câble dans le puits; on se base sur le fait que, plus un câble est long, plus il est élastique, et par conséquent capable d'absorber les sollicitations dues à l'extraction.

Un tableau donne la comparaison entre les coefficients de sécurité suivant la méthode habituelle et les facteurs de capacité pour toute une série d'installations en Angleterre.

On recommande un facteur de capacité de :

- 15 à 14 pour les câbles à torons ronds,
- 12 à 15 pour les câbles à torons triangulaires,
- 11 à 12 pour les câbles clos.

Le mémoire se termine par des renseignements très intéressants sur les câbles des installations d'extraction par plans inclinés et des installations de transporteurs aériens,

### N° 3.

#### La pratique des câbles d'extraction dans les mines anglaises,

par B.L. METCALF.

Après un court historique des différents câbles utilisés en Angleterre, l'auteur mentionne les qualités de fils d'acier, les constructions et genres de

câbles que l'on rencontre le plus souvent, câbles à torons ronds, à torons plats (triangulaires), à couches multiples de torons et câbles clos ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

L'auteur rappelle les principaux points de la réglementation relative aux câbles d'extraction en Grande-Bretagne et rend compte de l'expérience acquise par les changements apportés dans la construction des câbles mentionnés (sens unique de toronnage des câbles clos ou bien toronnage en sens alterné pour les différentes couches, utilisation des fils de remplissage pour les câbles à torons ronds et triangulaires, constructions Warrington, Seale, etc...).

Des détails sont également donnés sur les essais de câbles, les systèmes d'attache des câbles aux tambours (pattes de fond), les angles de déflexion et le rainurage des tambours.

En ce qui concerne les coefficients de sécurité, la seule prescription du règlement anglais est que l'attache du câble doit résister à une charge égale à 7 fois la charge maximum de service; d'autre part, avec les puits qui s'approfondissent de plus en plus, on en arriverait bientôt, si l'on adoptait

un coefficient de sécurité de 7 en tous les points d'un câble, à ce qu'il puisse uniquement soutenir son propre poids; une attention particulière doit donc être accordée à la notion du « facteur de capacité », tel que l'a défini Vaughan et qui est le rapport entre la charge de rupture du câble et le poids de la cage et des agrès, car quand on atteint une profondeur telle que le poids du câble équivaut à 35 % du poids de la charge suspendue, l'effet des chocs cinétiques dus aux changements de vitesse soudains est constant ou diminue.

L'auteur déduit qu'en adoptant un facteur de capacité de 12 pour un câble neuf, tombant à 8 lors de l'enlèvement, on peut être assuré d'obtenir un coefficient de sécurité minimum de 6 en tout point du câble, dans les limites de la profondeur critique, et un minimum de 4,5 jusque 6.000 pieds de profondeur.

Le tableau ci-dessous montre la variation du coefficient de sécurité lorsque la profondeur du puits augmente, avec un « facteur de capacité » de 10 pour câbles clos, 12 pour câbles à torons triangulaires et 13,5 pour câbles à torons ronds.

Charge et profondeur		Coefficient de sécurité		
Charge cage et agrès (t)	Profondeur du puits (pieds)	Câbles à torons ronds	Câbles à torons triangulaires	Câbles clos
5	1.000	10,4	9,6	8,5
10	1.500	9,6	8,7	7,8
15	2.000	8,5	7,9	7,0
25	3.000	—	—	6,2

L'auteur analyse ensuite les causes des efforts dynamiques et les moyens employés pour les déceler, les mesurer et les réduire.

Un chapitre a trait au graissage des câbles et les suivants sont relatifs aux effets de la détérioration des câbles (usure, corrosion, fatigue, fatigue de corrosion, durcissement de la surface des fils, tirebouchonnage des câbles clos), à la résistance des câbles usagés, à l'examen des câbles déplacés, à la confection des attaches, au coupage des pattes, aux câbles-guides, aux câbles d'équilibre et aux câbles de plans inclinés.

#### N° 4.

### La pratique des câbles d'extraction dans les Mines de l'Ontario,

par le « Ontario Mining Association Committee on Hoisting Ropes ».

Immédiatement après l'accident dû à une rupture de câble à la Mine Paymaster en 1945, ayant occasionné la mort de 16 mineurs, une commission a été instituée pour rechercher la cause de cet accident et pour en éviter le retour. Les conclusions des recherches ont été publiées dans les « Department of Mines Bulletins », n°s 158 et 158a : « Investigation sur la sécurité de l'équipement de l'extraction

et la pratique de l'extraction dans les Mines de l'Ontario ».

Il s'ensuit des modifications au « Handbook of Rules Governing the Operation of Mines ». Le travail envisagé fait état des modifications, des circulaires d'informations demandées en 1950 aux différentes mines à l'occasion de cette étude ainsi que des données envoyées à l'occasion de circulaires similaires en 1945 et 1946.

Les renseignements donnés ne présentent rien de particulièrement nouveau pour nos régions et sont relatifs à la fabrication des câbles, à l'équipement des machines d'extraction, aux types de cages et de skips.

La partie de la communication relative au coefficient de sécurité constitue une nouveauté intéressante en ce sens que la méthode du « Capacity Factor » de Vaughan a été améliorée. Le nouveau règlement de l'Ontario spécifie que le coefficient de sécurité à l'enlèvement ne pourra jamais être inférieur à 6 pour des profondeurs de puits jusque 2.000 pieds et jamais inférieur à 5 au delà de 2.000 pieds.

La fixation de 5 comme limite inférieure répond aux objections de certaines autorités qui faisaient remarquer que, pour des profondeurs de plus en plus grandes, on arriverait, avec la méthode du « facteur de capacité » de Vaughan, à un coefficient de sécurité qui approcherait de 0.

Les chapitres relatifs aux guidonnages et aux guides de cages donnent quelques renseignements relatifs aux rouleaux employés dans certaines mines. Des expériences très intéressantes ont été faites sur les parachutes également, encore qu'elles n'apportent rien de nouveau sur ce qui a été fait à ce sujet en Europe. Suivent les chapitres relatifs aux taquets, détériorations des câbles, usure, corrosion, entretien des gorges des poulies et molettes, lubrification, entretien et aux essais des câbles.

Des recherches du plus haut intérêt ont été poursuivies et sont relatives aux points suivants :

- 1) Les essais non-destructifs sur les câbles d'extraction;
- 2) Les essais dynamiques;
- 5) L'amélioration des lubrifiants de câbles d'extraction.

1) L'appareil électronique Geco (dérivé du cyclographe Du Mont) pour l'essai des câbles a donné lieu à l'appréciation suivante : aucune méthode facile n'a été trouvée jusqu'à présent avec l'aide de ces instruments pour prévoir la rupture prochaine d'un câble ou pour trouver sa résistance en fonction de sa vétusté. L'examen métallurgique détaillé des câbles ayant été déplacés pour vétusté, en vue d'analyser la nature et les causes de ruptures individuelles de fils, est encore loin d'être complet.

En ce qui concerne l'appareil de la Mac Phar Engineering Cy de Toronto (méthodes de magnétostriction pour déterminer les ruptures dans les câbles), essayé sous le patronage de l'Ontario Mining Association, on signale que : « L'appareil a été seulement mis au point pour les recherches de laboratoires, mais il est prévu que des essais sur chantier seront effectués dans un avenir prochain ».

2) Ces essais ont eu lieu avec des câbles en mouvement sur des poulies de différents diamètres et sous des charges différentes. Ils n'ont pas été terminés à temps pour figurer dans la présente communication.

5) Ces essais ne sont pas terminés.

Les études et les essais, bien qu'inachevés, permettent de se rendre compte des efforts effectués pour augmenter la sécurité de l'extraction dans les mines de l'Ontario. On est déjà arrivé à des résultats sensibles, mais c'est une vigilance continuelle et des recherches encore plus poussées qui amèneront de nouveaux et substantiels progrès.

## N<sup>o</sup> 5.

### La pratique des câbles d'extraction dans le Witwatersrand,

par MM. J. DOLAN, W.G. JACKSON et L.T. CAMPBELL PITT.

Le Witwatersrand possède une industrie métallurgique et des fabriques de fil d'acier dur pour câbles de mines à Iscor (Prétoria) et à Usco (Vereeniging). Les expériences effectuées par ces tréfileries démontrent que les fils d'acier basique sont de qualité égale à ceux d'acier acide. On procède à des essais de torsion et de flexion comme partout ailleurs; cependant, des conclusions erronées peu-

vent être déduites des essais qui provoquent une destruction trop rapide des fils et, en particulier, ce ne sont pas nécessairement les fils donnant les meilleurs résultats aux essais de flexion qui feront le meilleur service.

Les câbles préformés, dont l'usage s'est généralisé depuis quelques années, ont donné de bons résultats. Les fils fabriqués en acier Duplex et ceux en acier acide ont donné à peu près les mêmes résultats.

Le mémoire donne des renseignements très intéressants sur la manutention et l'emmagasinage des câbles, le placement sur les appareils d'enroulement, le remplacement des câbles, le service d'inspection et d'entretien, le graissage, la composition des lubrifiants, les allongements en service et le réglage de la longueur des câbles pour le service de l'extraction, les phénomènes qui apparaissent en service tels que le tirebouchonnage et les paniers à salade, la mise à taquets, les comparaisons de durée de service des câbles de différentes fabrications dans des cas déterminés, la composition des câbles et la charge de rupture des fils, l'usure, l'indentation des fils, la corrosion, les flexions, la fatigue et l'influence des types de machine d'extraction sur les câbles (commande à vapeur ou électrique).

Les auteurs insistent particulièrement sur le fait que, plus un câble est long, plus grande est sa capacité d'absorption vis-à-vis des efforts dynamiques qui lui sont imposés par les conditions d'extraction.

Les règlements sud-africains actuels :

- a) ne spécifient aucun coefficient de sécurité pour les installations où se fait uniquement l'extraction des produits;
- b) stipulent un coefficient de sécurité de 6 pour les installations servant uniquement au transport du personnel;
- c) stipulent un coefficient de sécurité de 6 pour les installations d'extraction qui servent également à la translation du personnel, la charge « personnel » étant limitée à 85 % de la charge « minéral »;
- d) permettent une réduction du coefficient de sécurité pour les puits profonds, avec autorisation du Département des Mines.

Des renseignements sont donnés sur les prescriptions réglementaires ayant trait à l'entretien des câbles en service, les essais, le contrôle; l'essai dit de « résilience » est particulièrement recommandé. Il est donné par la surface du diagramme charge-allongements, lors de l'essai de rupture sur éprouvettes prélevées à la patte; cet essai a depuis 1958 été de plus en plus utilisé par les usagers de câbles d'extraction; l'évolution des résultats des essais successifs est susceptible de donner des indications précieuses sur le moment optimum pour la mise hors service des câbles. Citons encore les chapitres relatifs à l'incidence sur les câbles du type des appareils d'enroulement, aux relations entre le choix de l'appareil d'enroulement, ses dimensions, la puissance du moteur d'extraction et tout l'équipement, aux dérogations qui peuvent être obtenues pour l'abaissement des coefficients de

sécurité pour les puits profonds en adoptant un facteur de capacité réduit.

Actuellement, dans le Rand, les puits principaux sont toujours verticaux et ont une profondeur maximum de 5.000 à 6.000 pieds. Un second puits vertical permet d'atteindre la profondeur de 7.500 à 9.000 pieds. Comme le « Reef » plonge de plus en plus, des plans inclinés permettent d'atteindre des profondeurs supérieures à 9.000 pieds.

## N° 6.

### Quelques aspects de la pratique des câbles d'extraction américains, par H.A. WALKER et JOSIAH GERRANS.

Aux Etats-Unis, le diamètre des câbles d'extraction ronds utilisés dans les puits verticaux varie de  $3/4$ " à 2". Les auteurs se réfèrent principalement aux installations de grande profondeur de la Homestake Mining Company à Lead, South Dakota, dont certains treuils se classent parmi les plus grands en usage dans les mines. Les câbles sont principalement du type  $6 \times 19$  avec âme textile et on emploie surtout l'acier « improved plow steel », qui correspond à la nuance 170/180 kg/mm<sup>2</sup>. Dans la catégorie  $6 \times 19$ , trois compositions différentes sont normalement spécifiées :

- 1)  $6 \times 19$  Seale (1-9-9), convenant surtout aux installations avec tambours et poulies de grand diamètre;
- 2)  $6 \times 21$  à fils de remplissage, (1-5-5-10) un peu plus flexible que le  $6 \times 19$  Seale;
- 5)  $6 \times 25$  Seale Special à fils de remplissage (1-6-6-12), employée sur installations à tambours et poulies de faible diamètre ou dans des puits peu profonds où l'enroulement est simple (en une seule couche).

Le câblage Lang est beaucoup employé sur les gros treuils; le câblage croisé est recommandé là où il est important de réduire au minimum la tendance à la giration ou quand le câble est très exposé à la corrosion. A Homestake, on utilise avec succès depuis 1922, le câblage Lang et la composition  $6 \times 19$  Special Seale (1-5-5-10) pour les câbles d'extraction principaux de 1 7/8" de diamètre.

Quand le câble est enroulé sur tambour en une seule couche, il travaille dans les meilleures conditions, mais cela nécessite généralement un tambour de grand diamètre et de grande largeur. Il y a beaucoup d'installations où le câble, enroulé en deux couches, fonctionne de façon satisfaisante; dans certains cas les câbles avec enroulement en trois couches ont une bonne durée de service.

Le rapport du diamètre du tambour à celui du câble est de 72 à 90. L'angle de déflexion (angle compris entre les deux droites menées à partir de la molette, d'une part, perpendiculairement au tambour et, d'autre part, jusqu'à la joue de ce dernier) ne dépasse pas  $1 \frac{1}{2}^\circ$  pour tambours non rainurés; pour les tambours rainurés de grand diamètre, on va jusque  $2^\circ$ . Les auteurs s'étendent assez longuement sur l'importance de la valeur maximum de cet

angle dans divers cas d'enroulement à couches multiples.

On recommande, en règle générale, de faire les tambours et molettes en acier coulé; quand la pression unitaire exercée par le câble sur la gorge est élevée, l'acier au manganèse donne les meilleurs résultats.

Comme type d'attache de câble (patte), la patte clamée est en faveur pour les gros câbles dans les puits profonds.

Les auteurs traitent ensuite de la question des gorges de poulies et tambours. Le maintien de la dimension exacte et du profil de la gorge des molettes contribue beaucoup à augmenter la durée de service des câbles, principalement dans les installations importantes sur puits profonds. Aux treuils principaux de la Homestake Mining Company, on vérifie tous les mois le profil de la gorge des molettes à l'aide d'un calibre spécial. La gorge doit être ramenée au diamètre standard lors des remplacements de câbles. Le mémoire décrit une machine à meuler portative pour rectifier sur place les gorges des molettes non démontables.

L'exposé donne des renseignements intéressants concernant l'enroulement sur tambour. Le rainurage hélicoïdal (en spirale) de la face du tambour convient mieux que les rainures parallèles dans la plupart des applications. Quand on enroule en deux couches, il faut munir le flasque du tambour rainuré d'un segment rapporté. Le point de l'autre flasque où finit la deuxième couche ne reste pas constamment le même; dès lors, si l'enroulement doit se continuer par une troisième couche, il n'est plus possible d'aider le câble par un segment rapporté, car la position de celui-ci sur le flasque du tambour devrait être changée constamment. Lorsqu'il n'y a que deux couches, les endroits du câble où celui-ci souffre le plus par frottement sont espacés régulièrement et il est possible de les répartir par des coupages périodiques à l'attache au tambour.

Plus il y a de couches, plus le câble souffre par abrasion; l'usure aux endroits de passage d'une couche à la suivante devient chaque fois plus forte.

Les auteurs examinent les avantages et désavantages, au point de vue tenue des câbles, de la mise des cages ou skips sur taquets; ils citent un système de signalisation pour puits, utilisé à Homestake, qui comprend un dispositif de sécurité à feu rouge s'allumant quand les taquets de cage sont sortis. Le mécanicien ainsi prévenu évitera de donner trop de mou au câble.

Pour le graissage en service, les lubrifiants épais sont les meilleurs protecteurs des câbles, mais il est douteux qu'il pénètrent bien à l'intérieur du câble même s'ils sont chauffés préalablement, car ils se figent rapidement sur la surface du câble froid. Depuis quelques années, la tendance en Amérique est d'utiliser des lubrifiants légers et moins visqueux, qu'on applique par égouttage ou pulvérisation. Dans certaines mines, on a ajouté au dispositif de graissage usuel un système secondaire par égouttage. Récemment, on a amélioré le graissage en ajoutant des agents inhibiteurs aux lubri-

fianciers légers. Certains de ces agents sont du type polaire et ont tendance à porter le lubrifiant directement à la surface du métal en excluant l'humidité. Les auteurs suggèrent l'emploi d'indicateurs radioactifs permettant de déterminer jusqu'à quel point les divers lubrifiants pénètrent à l'intérieur du câble.

Il décrivent ensuite les méthodes de contrôle des câbles en service à Homestake. La résistance d'un câble usé est donnée par des tableaux, fournis par une câblerie américaine, en fonction de deux facteurs toujours observables : le degré d'usure, apprécié par l'examineur, et le nombre de fils brisés sur une longueur égale au pas de câblage, à l'endroit le plus défectueux du câble. Comme il est impossible de tenir compte d'autres facteurs, tels que diminution de diamètre, corrosion, perte de résilience, détériorations locales, il est bon d'établir un diagramme de corrections, en comparant les indications du tableau avec les résultats d'essais effectués sur les câbles provenant de la même installation, après leur enlèvement.

Les auteurs terminent par quelques considérations sur l'avenir des câbles en acier dans les mines et estiment que l'on doit prévoir autant de progrès que dans le passé. Les recherches devraient être orientées vers la mise au point d'une méthode d'essai non destructif, apparentée à la méthode électrique employée pour la détection des défauts dans les rails en acier. Mention est faite des résultats encourageants obtenus par la General Engineering Co de Toronto avec le cyclographe de Du Mont.

#### N<sup>o</sup> 7.

### Extraction à grande profondeur à la mine d'or de Kolar (Indes Anglaises),

par J.W.P. CHALMERS  
et A.H.P. FITZPATRICK.

Cette communication ne concerne que les câbles en service dans le passé et actuellement, au puits Gifford de la « Champion Reef Gold Mines of India Ltd ».

La profondeur maximum d'extraction est de 6.565 pieds; cette profondeur relativement grande ainsi que l'utilisation de chaînes pour l'attache de la cage et de taquets ont accentué les problèmes relatifs aux câbles. On a rencontré des difficultés qui ne s'étaient pas présentées pour des câbles utilisés dans les autres puits verticaux de profondeur allant jusque 4.000 pieds.

Les auteurs décrivent les caractéristiques, le comportement et les performances des quatre paires de câbles utilisées depuis le début de l'équipement du puits Gifford et tirent les conclusions des résultats obtenus jusqu'à présent.

Ils passent en revue les points suivants :

Description des installations - Caractéristiques des câbles - Essais, placement et changement des câbles - Confection des attaches - Variation en service dans les diamètres et pas de l'hélice du toronnage - Torsion dans le câble - Molettes - Coefficients de sécurité - Service des câbles - Graissage - Conclusions.

#### N<sup>o</sup> 8.

### Etude sur les essais de fils des câbles d'extraction,

par P. TEISSIER.

Il n'existe pas en France de machine d'essai pour câbles de mines, permettant d'obtenir la rupture sur éprouvette entière pour les hautes charges de rupture actuellement employées. Aussi, le Service des Mines envisage-t-il, dans son nouveau projet de Règlement général, d'autoriser dans certains cas les essais réglementaires à partir d'essais sur les fils composant ces câbles.

L'auteur se propose d'établir une norme d'essai des fils métalliques, de tirer des conclusions des comparaisons d'essais systématiques exécutés dans divers laboratoires et d'indiquer ce qu'on peut tirer d'un examen approfondi d'essais de câbles fil par fil.

Il décrit les conditions d'essais relatifs à une nouvelle norme française pour les essais de traction, torsion, flexion et enroulement sur fils et signale les enseignements découlant d'une série d'essais comparatifs effectués sur des éprouvettes provenant de même rouleaux de fils, effectués dans dix laboratoires d'essais français.

L'étude d'un certain nombre de câbles en service paraît indiquer que des essais effectués sur tous les fils d'un câble peuvent donner des renseignements intéressants, tant au point de vue du dépistage du câble français, d'étudier les conditions de réception câble en cours de service.

Ces études ont permis aux Charbonnages de France, en collaboration avec les fabricants de câbles français, d'étudier les conditions de réception des câbles métalliques ronds d'extraction. La communication donne le texte relatif aux essais sur fils de ce cahier des charges.

#### N<sup>o</sup> 9.

### La pratique des câbles d'extraction en Belgique,

par Y. VERWILST.

Voici le sommaire de cette communication :

*La Réglementation officielle sur les câbles d'extraction en Belgique :*

Les articles du Règlement.

Les circulaires ministérielles.

Les circulaires émanant de la Direction générale des Mines.

*Règles particulières :*

Les spécifications Ocachar.

Les spécifications A.I.B.

La réception des câbles.

Les statistiques des résultats d'essais.

*Essais de laboratoires :*

Les enseignements de la statistique du contrôle des câbles.

Les charges de rupture unitaire maxima pour les fils.

Coefficients de sécurité.

**Sécurité :**

Les services de contrôle des câbles d'extraction de l'A.I.B.

Méthodes de contrôle des câbles d'extraction.

**N° 10.**

**Les câbles d'extraction sur poulies Koepe pour puits principaux dans les Pays-Bas,**  
par J.W. KLEINBENTINK.

Sur un total de 27 puits principaux dans les Pays-Bas, il y en a 22 qui sont équipés avec des poulies Koepe.

La communication présente se propose de discuter les avantages et les inconvénients du système.

Il a été admis aux Staatsmijnen que les avantages l'emportent sur les inconvénients; ceux-ci doivent être réduits le plus possible par des mesures appropriées.

En ce qui concerne le glissement, la pratique aux Staatsmijnen montre qu'il ne peut être considéré comme un réel inconvénient.

L'impossibilité de couper des pattes ne constitue pas non plus un réel désavantage. On constate en effet que les fatigues excessives se manifestent ailleurs que dans les parties des pattes.

Le seul réel désavantage du système Koepe est constitué par l'impossibilité d'exploiter à deux cages un autre étage que celui du fond.

La descente des matériaux doit aussi se faire avec prudence si l'on ne veut pas risquer le glissement.

En plus de stipulations générales, les conditions particulières réglementaires suivantes sont d'application pour les câbles sur poulie Koepe : 7 (au lieu de 6) comme coefficient de sécurité statique au placement et 6 à l'enlèvement, 2 ans comme durée maximum de service, sauf dérogation spéciale.

La méthode de l'ouverture des câbles en service n'étant pas utilisée en Hollande, on recourt à des méthodes statistiques dépendant du nombre de fils brisés extérieurs pour décider du moment de l'enlèvement des câbles. Un appareil électro-magnétique détecteur de fils brisés a été expérimenté.

D'après l'auteur, il est difficile de déterminer la meilleure construction de câble pour un travail déterminé, aussi longtemps que le problème de la qualité de manufacture restera une variable au lieu d'un facteur constant; pour les Staatsmijnen, l'expérience a montré que le câble ordinaire à torsions ronds ne convient pas pour les poulies Koepe, que, pour les puits profonds, il faut des câbles à module d'élasticité élevé pour éviter les allongements élastiques excessifs et que la construction Seale n'est pas préférable aux autres pour les installations Koepe sur tours.

Le niveau le plus bas d'exploitation est seulement de 750 m en Hollande. Pour les plus grandes profondeurs, un très ingénieux système d'égalisation de l'allongement du câble pour l'accrochage du fond a été imaginé par A. Burgemeester du Département mécanique des Staatsmijnen. La figure 1 en donne la représentation. La partie (a) de la

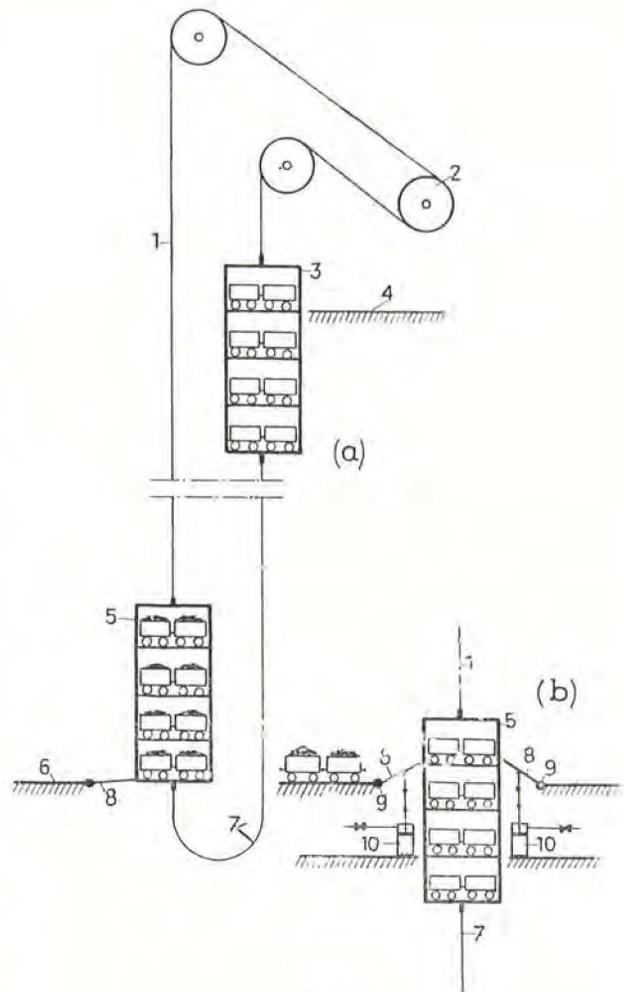


Fig. 1.

figure représente le système Koepe normal, tandis que la partie (b) représente le nouveau système à l'accrochage du fond. Le chargement de la cage commence par le plancher supérieur. Les pistons des cylindres à air comprimé 10 sont reliés aux plates-formes mobiles, qui appuient sur le plancher de la cage avec une force égale au poids du chargement de quatre wagonnets (en l'occurrence). De cette façon, la plate-forme ne dépasse en aucun cas l'inclinaison limite de 20°.

Pour terminer, quelques indications sont données sur les attaches de câbles aux cages et sur le placement des câbles.

**N° 11.**

**Les câbles d'extraction dans la Ruhr,**  
par H. HERBST.

La première partie traite des installations d'extraction. Celles-ci comportent 385 puits avec 506 machines, dont 261 puits principaux avec 564 installations d'extraction, parmi lesquelles il convient de citer spécialement celle de la mine Hannover qui est la seule installation à câbles multiples existant actuellement.

Les profondeurs sont données par le graphique (fig. 2) et les charges par le graphique (fig. 3).

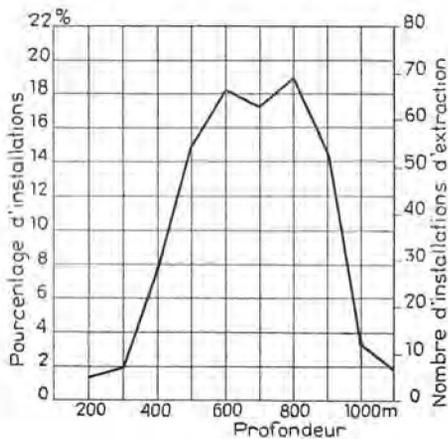


Fig. 1.

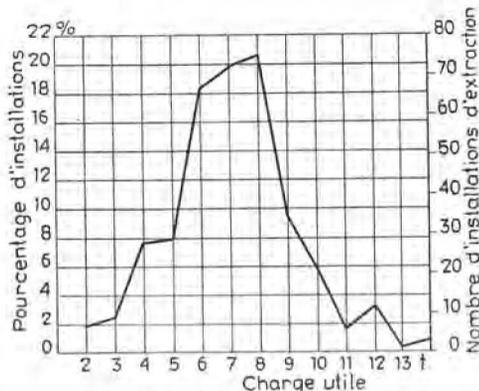


Fig. 2.

Les molettes sont en acier et de construction soudée, les jantes et les bras en laminé, et le noyau en coulé. Le rapport diamètre poulie — diamètre câble est environ 50.

Les guides dans le puits sont en bois de qualité spéciale (le bois préféré est le pitch-pine ou le jarrah d'Australie). Ils présentent sur l'ancien type de guidonnage Briart les avantages de la douceur de glissement de la cage et de la rapidité des réparations, et, par rapport aux guides-câbles, l'avantage d'une utilisation meilleure de la section du puits.

Sur 564 machines, il en existe 545 avec poulie Koepe et 19 avec tambours. La commande par vapeur est utilisée le plus couramment. Toutefois, parmi les 18 plus récentes installations, 12 sont à commande électrique. Parmi les machines électriques, 14 (dont 5 petites machines) sont installées au sommet du chevalement. La vitesse maximum autorisée pour les produits est de 20 m/sec et, pour le personnel, 12 m/sec. Elle est seulement de 6 m/sec pour les machines à vapeur et de 8 m/sec pour les machines électriques, quand la charge n'est pas équilibrée pour les deux cages.

Le rapport du diamètre poulie Koepe au diamètre du câble va de 110 à 150 et la pression spécifique

du câble va de 11 à 15 kg/cm<sup>2</sup>; la moyenne est de 12.

L'auteur ne dit pas quelle est, d'après l'expérience, la meilleure garniture pour gorges de poulies Koepe. Lorsque les molettes sont côte à côte, pour 100.000 révolutions de la poulie d'entraînement et pour une pression spécifique moyenne de 12 kg/cm<sup>2</sup> et un câble à torons ronds, l'usure est de 1 mm pour alliage léger, 1,5 mm pour le cuir, 5 à 5,2 mm pour garniture fabriquée et caoutchouc à trame de coton, 6 à 10 mm pour le bois. Pour molettes et poulie dans le même plan, cette usure est de 40 à 50 % moindre.

Des indications sont données sur les conditions auxquelles doivent satisfaire les freins et les sécurités des machines d'extraction. Les coefficients de sécurité pour le transport du personnel sont de 9,5 au placement et 7 à l'enlèvement pour les câbles sur installations Koepe. Dans certaines conditions, ces nombres peuvent descendre à 8,5 et 7. En corrélation avec l'augmentation de la profondeur du puits, il est question de diminuer les coefficients de sécurité au placement en adoptant la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Translation du personnel} & \dots 9,5-0,001 T \\ \text{Produits} & \dots 7,2-0,0005 T \end{aligned}$$

T étant la profondeur en mètres.

Le maximum autorisé pour la charge de rupture unitaire des fils composant les câbles d'extraction est de 180 kg/mm<sup>2</sup> pour les fils clairs et 170 kg/mm<sup>2</sup> pour les fils galvanisés; dans le calcul de la résistance des câbles, d'après la somme des résultats obtenus sur les fils qui les composent, on ne peut retenir les fils donnant des résultats supérieurs à 200 kg et 190 kg/mm<sup>2</sup> respectivement et l'auteur en donne les raisons.

Il décrit les conditions auxquelles les fils doivent satisfaire aux essais et fait remarquer que, sauf considérations spéciales, les câbles à couches de torons multiples ne sont pas admis pour les installations d'extraction.

Le règlement recommande de ne pas descendre en dessous de 2,2 mm de diamètre pour les puits principaux et 1,5 mm pour les puits intérieurs, car les fils relativement gros ont une meilleure tenue en service que les fils de faible diamètre. On a rarement employé des fils d'un diamètre supérieur à 5 mm.

Le plus grand nombre de câbles en service est du type Lang, câblage Seale avec utilisation du système Warrington.

Le contrôle des câbles se fait journellement, toutes les semaines ou toutes les six semaines, suivant des modalités décrites dans la communication, l'intervention de la station d'essai ayant lieu si les contrôles décèlent quelque chose d'anormal. Le personnel de contrôle de la station d'essai subit une formation spéciale.

La durée maximum de service des câbles sur poulie Koepe est de deux ans. Des autorisations de durée supplémentaire de six mois en six mois peuvent être obtenues sur avis motivé de la Station d'essai.

Pour le graissage, on emploie le plus souvent un vernis adhésif et élastique ou des graisses dans du

solvant dont l'évaporation laisse subsister une mince couche de lubrifiant, qui ne contrarie pas l'adhérence du câble sur la poulie d'entraînement.

Les durées moyennes de fonctionnement augmentent régulièrement depuis 1936 et il y a lieu de croire, entre autres, à une amélioration dans la fabrication. Des formules sont données pour apprécier les performances des câbles en fonction des données existantes.

La communication s'achève par des renseignements sur les systèmes d'attache, le réglage en service de la longueur et le placement des câbles.

## N° 12.

### Tensions dynamiques dans les câbles métalliques utilisés dans les puits verticaux,

par P.J. POLLOCK et G.W. ALEXANDER.

Le comportement des câbles verticaux, abstraction faite de l'inertie du câble, a fait l'objet de nombreuses analyses; par contre, les études tenant compte de l'inertie du câble sont rares. Le fait de négliger l'inertie implique la supposition qu'un choc subi par le câble à une de ses extrémités est instantanément transmis à l'autre bout et que les tensions sont constantes sur toute la longueur du câble. Si le poids de celui-ci est inférieur au quart de la charge attachée au bout inférieur, ces suppositions sont acceptables et le câble peut être traité comme un simple ressort élastique auquel est suspendu un poids. Mais quand il s'agit de câbles plus longs et plus lourds, la force appliquée lors du freinage met un temps appréciable à atteindre le bout inférieur, ce qui influence fortement les tensions produites.

En 1904, Vaughan tint compte de l'inertie, mais il ne considéra malheureusement que le cas où le tambour de frein s'arrête instantanément et où le choc se termine avant que ses effets se fassent sentir dans le câble. En 1932, Perry et Smith présentèrent une étude dans laquelle ils tenaient compte de l'inertie du câble et ils considérèrent, entre autres cas, celui où le frein produit une décélération du tambour, croissant régulièrement jusqu'à une valeur maximum donnée. Les diagrammes dressés par eux ne permettent pas de conclure si ce type de freinage est avantageux.

Les auteurs du présent mémoire présentent une nouvelle théorie tenant compte de la masse, de la longueur, de la vitesse initiale et du module d'élasticité du câble.

Après être arrivés à une équation générale en utilisant la méthode des opérateurs, ils envisagent successivement les cas suivants :

- 1) décélération constante du tambour;
- 2) décélération croissant uniformément;
- 3) freinage contrôlé par régulateur;
- 4) chute d'une charge dans un skip pendant librement ou introduction d'une berline dans une cage;
- 5) chargement graduel d'un skip;
- 6) démarrage.

En conclusion, la méthode exposée est directement applicable à la plupart des cas rencontrés en pratique. Une décélération croissant uniformément ne présente pas d'avantage si elle est soudainement réduite à zéro quand le tambour s'arrête; une décélération maximum bien définie, dont la valeur est limitée par régulateur, est préférable. Si la décélération croît uniformément, la durée la plus avantageuse du temps requis pour que cette décélération atteigne son maximum est égale à la période fondamentale d'oscillation du système, mais il est essentiel, pour conserver cet avantage, que la décélération décroisse uniformément jusqu'à zéro pendant un temps égal au précédent.

Des hypothèses admises dans cette théorie, la plus discutable est celle de la réflexion parfaite au tambour des ondes de tension; une étude plus poussée devrait tenir compte de l'effet du frottement entre le tambour et la partie du câble qui y reste enroulée. Il serait désirable aussi d'envisager le cas où un amortisseur est intercalé entre la cage et l'extrémité inférieure du câble, pour diminuer la réflexion des ondes de tension en ce point.

## N° 13.

### Accidents aux câbles métalliques de mines dans la pratique des charbonnages anglais,

par A.E. Mc CLELLAND.

L'auteur traite des ruptures de câbles de mines, qui se sont produites pendant 12 ans, de 1938 à 1949 inclusivement. Il analyse ces ruptures, ainsi que les cas de détériorations graves, du point de vue de leur cause principale. Il considère successivement les classes suivantes de câbles :

- 1) câbles d'extraction;
- 2) câbles de traînage servant au transport de personnes et de produits;
- 3) câbles de traînage servant uniquement aux produits;
- 4) câbles d'équilibre;
- 5) câbles-guides.

#### 1. — Câbles d'extraction.

Il y a eu 35 ruptures; le nombre total des câbles en service simultanément n'a jamais été inférieur à 3.000. Trois des ruptures sont dues à des accidents dans le puits; des 32 cas restants, 20 étaient des ruptures dues à la corrosion et à la fatigue combinée à la corrosion. La corrosion peut être combattue par l'emploi de fils galvanisés et par un bon graissage en cours de fabrication et en service. La fatigue est combattue par la suppression des chocs et en évitant les tensions élevées répétées. Il est intéressant de noter que, sur les 20 câbles en question, il n'y en avait qu'un seul qui était galvanisé; c'était un câble clos d'une composition défavorable au point de vue graissage.

Neuf ruptures résultèrent d'une confection défectueuse des attaches de câbles. Dans 2 cas, il s'agissait de pattes coulées et dans les 7 autres cas, de pattes à fils repliés et douille conique. L'auteur remarque que ce dernier type a une efficacité de 100 % quand la patte est bien confectionnée, mais

qu'il devrait être proscrit pour câbles d'extraction pour diverses raisons qu'il expose.

Un câble s'est rompu à cause d'une coque.

D'autres constatations intéressantes sont les suivantes.

Sur les 32 ruptures, 28 se produisirent tandis que la cage montait, 15 eurent lieu à une distance de 6 pieds ou moins de la patte-cage, 19 survinrent dans des puits d'entrée d'air, 28 affectaient des câbles dont l'état dangereux aurait pu être reconnu avant l'accident.

Ces 32 ruptures ne coûtèrent ensemble qu'une seule vie humaine, mais une seule rupture désastreuse pourrait bien entraîner la mort d'un grand nombre d'hommes dans chacune des deux cages il y a donc lieu de veiller tout particulièrement à l'entretien et au contrôle des câbles.

Sur les 46 cas de détérioration grave examinés pendant la période de 12 ans, 24 sont dus à la corrosion et à la fatigue combinée à la corrosion, 9 à la fatigue, 5 à la déformation du câble, 4 à la fragilité superficielle, 2 à la confection défectueuse des pattes, 1 à l'emploi de fils défectueux et 1 à une construction défectueuse du câble. Examinant les 9 cas de détérioration par fatigue, l'auteur signale qu'il y avait 5 cas avec flexion secondaire « accentuée » et il fait ressortir la différence existant entre les effets de cette forme de la flexion secondaire et la forme « normale ». En traitant des 5 cas de déformation du câble, il propose une explication du vrillage des câbles clos, accident qui n'affecte en général que les gros câbles.

En ce qui concerne les 4 cas de fragilité superficielle, l'auteur remarque que cette dernière est généralement due à l'écaillage plutôt qu'à la formation d'une couche de martensite; il cite le cas de câbles à torons triangulaires qui ont pu se détordre quelque peu lors de la pose ou en service, avec le résultat que les torons tournent autour de leur axe et que la pression de la poulie ou du tambour, au lieu de se répartir sur la face du toron, se concentre au voisinage de l'arête saillante de celui-ci.

#### 2. — Câbles de trainage servant au transport de personnes.

Il y eut 28 ruptures pendant la période de 12 ans, dont 9 furent dues à la corrosion et à la fatigue combinée avec la corrosion (sur ces 9 câbles, il n'y en avait qu'un seul galvanisé), 9 à la formation de coques dans les câbles, 5 à la fragilité superficielle, 2 à la confection défectueuse des pattes. L'auteur explique pourquoi la fragilité du métal à la surface qui, dans ces câbles, est généralement due à la formation de martensite, est plus dangereuse que la présente statistique ne pourrait le faire supposer.

#### 3. — Câbles de trainage servant uniquement aux produits.

On examine 56 cas de ruptures résultant de détériorations aux câbles. De ces cas, 20 sont dus à la corrosion et à la fatigue combinée avec la corrosion (sur les 20 câbles intéressés, il n'y en avait

que deux galvanisés), 10 à des coques ou autres déformations, 7 à la confection défectueuse des pattes, 4 à la fragilité du métal à la surface, etc...

Le type de patte à fils repliés et douille conique, dont question plus haut et qui est à l'origine de beaucoup de ruptures, ne peut généralement pas être remplacé par la patte coulée quand il s'agit de câbles de trainage, car il est rarement possible de pouvoir fondre le métal blanc dans le fond. L'auteur donne la description d'une patte convenant pour les câbles en question et qui a été mise au point par le « Safety in Mines Research and Testing Branch » du Ministère du Combustible et de l'Énergie.

#### 4. — Câbles d'équilibre.

Il n'y eut que 4 cas de rupture pendant 12 ans; tous furent dus à la corrosion et à la fatigue combinée avec la corrosion. Un seul des 4 câbles était galvanisé.

#### 5. — Câbles-guides.

Les 7 cas de rupture examinés montrent que la corrosion n'était pas une cause importante de rupture (cela s'explique par le fait que les fils sont gros), mais que l'usure localisée et l'amarrage défectueux avaient une certaine importance.

Dans la conclusion de son mémoire, l'auteur remarque que la corrosion, souvent accompagnée de fatigue, constitue la cause la plus importante de détérioration des câbles de mines en Grande-Bretagne; il indique les remèdes à appliquer pour réduire au minimum les effets des causes de détériorations examinées.

### N<sup>o</sup> 14.

#### Les recherches sur les câbles d'extraction à la « Ontario Research Foundation », par I.A. USHER et L.W. SPROULE.

Le 2 février 1945, la rupture d'un câble d'extraction à la « Paymaster Consolidated Mines Limited, Ontario », occasionna la mort de 16 mineurs.

À la suite de cet accident, un comité fut créé au sein de la « Ontario Research Commission ». Ce comité décida que le premier point du programme devait être la construction d'une machine d'essais pour câbles, qui étudierait les caractéristiques d'endurance des câbles opérant dans des conditions différentes de service, telles que charge, degré de corrosion extérieure, lubrification, diamètres de poulies d'enroulement, genre de gorges de poulie, nature du fil, genre de construction du câble.

Le rapport décrit la construction et le mode d'opération de cette machine d'essais pour câbles, en même temps que les résultats obtenus.

Un des problèmes importants à résoudre était la destruction des câbles essayés dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles ils sont détruits en service. Certains renseignements sont donnés mais, les essais n'étant pas terminés, la communication est présentée à titre d'information.

## N° 15.

**Pratique des essais des câbles d'extraction  
dans les exploitations de mines métallifères  
du Queensland (Australie),**

par I.W. MORLEY.

L'auteur passe en revue l'activité du département des mines en ce qui concerne les essais des câbles dans les exploitations métallifères, portant sur une période de plus de 60 ans. Il s'étend particulièrement sur les essais de torsion de fils individuels et leur interprétation. L'exposé contient des observations relatives à deux cas récents de rupture de câble, survenus dans l'Etat du Queensland, un rapport complet relatif à l'emploi d'un câble clos, dans les mines du Mont Isa, ainsi que des comptes rendus d'essais effectués par les fabricants du câble en question, après mise hors service de celui-ci par les usagers, bien que ce câble n'ait pas été condamné par le département des mines; il décrit enfin des essais de descente en chute libre, effectués avec des cages de sécurité dans les mines du Queensland.

## N° 16.

**Comparaison des réglementations  
des différents pays  
particulièrement  
au point de vue des coefficients de sécurité,  
par M.A. HOGAN.**

Ce mémoire est basé en grande partie sur les travaux du Bureau International du Travail à Genève, pour l'élaboration du « Règlement-type de sécurité pour les travaux souterrains dans les Charbonnages ».

L'auteur passe en revue les lois et règlements relatifs à l'emploi des câbles métalliques dans les mines, en vigueur dans les pays suivants : Belgique, France, Allemagne, Grande-Bretagne, Pays-Bas, Afrique du Sud, Russie, Etats-Unis d'Amérique, Canada, Mexique. Les différents sujets traités, étudiés dans le même ordre que dans le Règlement-type de sécurité du B.I.T., sont :

Qualité des câbles et essais avant mise en service.

Coefficient de sécurité.

Pose des câbles et voyages d'essai avant mise en service pour la translation du personnel.

Visites périodiques des câbles en service.

Degré de détérioration permis.

Renouvellement des pattes.

Durée de vie.

Câbles d'équilibre.

Taquets de sécurité.

Nombre de tours de réserve sur le tambour.

Poulies et tambours.

Câbles de trainage.

Câbles-guides.

L'auteur établit des comparaisons intéressantes entre les prescriptions édictées dans les différents pays et il relève les divergences de vues concernant les essais de câbles et de fils et leur interprétation.

Il s'étend assez longuement sur la question du coefficient de sécurité. Les valeurs imposées pour ce coefficient par les règlements européens se justifient pour puits de profondeur moyenne mais, pour l'extraction à grande profondeur, la spécification d'un « coefficient de capacité » au lieu d'un coefficient de sécurité semble indiquée.

## N° 17.

**L'enroulement en couches multiples  
des câbles clos utilisés pour l'extraction par skips  
à la mine de Broken Hill South Lid,**

par M.C. CRACE et E. GONINAN.

Ce mémoire donne une description intéressante d'une installation par skip, à câbles clos s'enroulant en plusieurs couches sur leur tambour. Le puits, de section rectangulaire, à revêtement en bois, de 2.400 pieds de profondeur, comporte deux compartiments pour skips. Il y a quatre étages situés respectivement aux niveaux de 1.070, 1.370, 1.940, 2.250 pieds, mais le dernier n'est pas encore en service. Les guides sont en bois. Il s'agit d'un puits d'entrée d'air, relativement sec. Les skips de 5 t sont actionnés par un treuil à deux tambours, commandé par un moteur à courant continu de 875 CV et 55,7 t/m, couplage Ward-Léonard. Les tambours ont 10 pieds de diamètre et 5 pieds de largeur, ils sont rainurés et portent un segment usiné rapporté à l'endroit du passage de la première couche à la seconde. Les molettes ont aussi 10 pieds de diamètre. L'angle de déflexion des câbles d'extraction est de 1°2'; le rapport du diamètre de tambour ou de molette au diamètre du câble est de 87,2. Les câbles clos, de 1 5/8" de diamètre, ont une charge de rupture garantie de 108 t, ce qui, pour une charge maximum de 12,6 t (poids du câble compris), donne un coefficient de sécurité de 8,57 à la pose.

Depuis que les skips ont été mis en service, en 1951, quatre paires de câbles clos ont été utilisées et on a extrait environ 6.000.000 de tonnes de minerai. La quatrième paire était encore en service en 1950. La longue vie des câbles est attribuée aux facteurs suivants :

- 1) Angle de déflexion convenable (1°2');
- 2) Rapport diamètre tambour au diamètre câble très satisfaisant (87,2);
- 3) Longue période d'accélération (22 secondes);
- 4) La charge totale imposée au câble, comprenant les sollicitations dynamiques et de flexion, ne dépasse pas 25 % de la charge de rupture du câble;
- 5) Emploi d'amortisseurs aux taquets des envoies;
- 6) Bon état du guidonnage et du puits vérifié par essais au décéléromètre;
- 7) Emploi de mains-courantes de skip articulées;
- 8) Emploi de pièces rapportées aux endroits de passage de la première couche à la seconde;
- 9) Commande automatique de l'extraction;
- 10) Graissage systématique et efficace du câble.

N<sup>o</sup> 18.Le contrôle électronique des câbles d'extraction,  
par W. SIMPSON.

Ce mémoire est consacré à la description d'un nouveau cyclographe, construit spécialement pour le contrôle des câbles métalliques, et aux essais effectués au moyen de cet équipement en Nouvelle-Ecosse.

Après un historique du développement de la méthode de contrôle électronique, l'auteur donne la théorie de cette méthode. Le cyclographe donne des renseignements intéressants concernant la structure et les tensions dans un objet en métal, étant donné qu'il existe une relation fondamentale entre ces caractéristiques et certaines propriétés magnétiques et électriques des métaux.

L'appareil à contrôler les câbles consiste essentiellement en un oscillateur très sensible et stable. Sa fréquence en service est déterminée par la bobine reliée à l'instrument et traversée par le câble à contrôler. Un champ magnétique est créé dans la bobine quand il ne s'y trouve pas d'objet à essayer. Dans ces conditions, l'énergie fournie par l'oscillateur est représentée par la hauteur verticale de la courbe visible sur l'écran du tube à rayons cathodiques. Mais si un objet métallique est placé à l'intérieur de la bobine, des pertes d'énergie se produisent dans l'objet, réduisant le débit d'énergie de l'oscillateur et diminuant ainsi la hauteur de la courbe sur l'écran du tube à rayons cathodiques.

Les pertes d'énergie dans l'objet contrôlé sont dues aux pertes d'hystérésis magnétique et aux pertes par courants de Foucault. Lors de l'emploi de l'instrument, la seule caractéristique intéressante de la courbe sur l'écran est sa hauteur verticale; on la mesure à l'aide d'une échelle graduée en pouces et dixièmes de pouces.

Tout l'équipement est installé dans un camion-laboratoire, châssis Fargo de 1 5/4 t. Outre le cyclographe et ses accessoires, il y a un dynamomètre enregistreur pour mesurer et enregistrer la tension dans le câble même, quand celui-ci est en mouvement.

L'auteur donne des exemples de diagrammes pris sur différents câbles installés dans des mines de la Nouvelle-Ecosse et il explique comment les résultats doivent être interprétés.

En prenant une série de diagrammes à différentes époques de la vie du câble, il est possible de déterminer l'état de ce câble ainsi que le coefficient de sécurité en tout point de sa longueur. Les essais s'effectuent sans interrompre le travail normal d'extraction et sans endommager le câble.

De tous ces mémoires, ainsi que des discussions au cours des différentes sessions de la Conférence, il y a lieu de tirer les enseignements suivants :

*Fils d'acier durs servant à la fabrication des câbles d'extraction.*

En ce qui concerne la qualité, il semble que les fils de fabrication basique soient sensiblement équi-

valents aux fils de fabrication acide et que, plus leur plasticité est grande, mieux ils se comportent en service. C'est dans le sens d'une augmentation de leurs qualités plastiques que leur fabrication pourra être améliorée et non par l'augmentation de leur résistance unitaire qui semble avoir atteint un palier suffisant.

Les fils tréfilés galvanisés paraissent jouir d'une réputation qui ne fait qu'augmenter, les fils galvanisés à chaud suivant l'ancienne méthode semblant devoir être réservés aux installations où les câbles ne sont pas soumis à fatigue et où c'est principalement la résistance à la corrosion qui doit être considérée.

*Fabrication des câbles d'extraction.*

En ce qui concerne la fabrication proprement dite, rien de spécial n'est à relever si ce n'est le triomphe des procédés Warrington et Seale et l'utilisation la plus générale de petits fils de remplissage pour combler les vides entre les gros fils. Quant aux différents types de câbles, on constate que les opinions diffèrent suivant les pays et les bassins miniers, les genres d'appareils d'enroulement utilisés, la profondeur de l'extraction et l'importance de la charge.

Pour les machines à tambours (cylindriques, lisses et rainurés, bicylindro-coniques), il semble que, lorsqu'il s'agit de fortes charges et de grandes profondeurs, c'est le câble clos qui est le plus avantageux et qu'il l'est de façon absolument certaine lorsqu'il s'agit d'enroulements en couches multiples.

Lorsqu'il s'agit de poulies Koepe, on peut conclure que ce sont les câbles à torons triangulaires et à une seule couche de torons qui sont le plus généralement employés dans la Ruhr, les Pays-Bas et en Grande-Bretagne.

*Coefficients de sécurité.*

On a cité ci-dessus les coefficients de sécurité imposés par les réglementations minières des grands pays représentés à la Conférence. Ce qui a caractérisé les discussions sur ce sujet, c'est la préoccupation que provoquent chez les spécialistes les profondeurs croissantes d'extraction et l'augmentation des charges.

En dehors de la solution radicale apportée à ce problème par les câbles multiples, il reste l'augmentation de la charge admissible des câbles d'extraction, qui peut être obtenue par l'augmentation de la résistance unitaire des fils, l'augmentation de la section métallique des câbles et la diminution des coefficients de sécurité.

Nous avons vu que l'augmentation de la résistance unitaire n'est pas à conseiller (si elle était réalisable). L'augmentation de la section métallique ne peut se réaliser que par l'augmentation du nombre des fils dans les torons; or, plus un câble est lourd et peu maniable, plus la sécurité qu'il présente diminue par l'augmentation de la difficulté de contrôle et de la perte de résistance au câblage.

Partant du fait vérifié par l'expérience que, plus un câble est long, plus il est capable de résister aux sollicitations dynamiques en raison de l'augmen-

tation de son élasticité propre, Vaughan a proposé d'adopter, comme critère pour les installations d'extraction de puits profonds, le « facteur de capacité » défini par le rapport de la charge de rupture du câble au poids de la cage chargée, avec ses agrès.

L'application de ce critère revient à admettre un coefficient de sécurité à la molette, décroissant pour des profondeurs de puits croissantes. Vaughan propose la fixation d'un coefficient de sécurité minimum (à l'enlèvement) de 5 ou de 4,5, pour les cordées de personnel et de minerai respectivement, et d'un facteur de capacité minimum de 10, avec limitation de la charge « personnel » à 0,9 de la charge « minerai ».

Il est à remarquer qu'un nombre important d'installations du Witwatersrand ont reçu l'autorisation d'appliquer de tels coefficients de sécurité.

Notons aussi que jamais, en Belgique, on n'est descendu en dessous de 5 à l'enlèvement pour les dérogations accordées pour les puits profonds et que l'expérience acquise en cette matière indique qu'il serait dangereux de descendre en dessous de ce chiffre.

Il serait intéressant d'établir, pour les principales installations d'extraction en Belgique, la comparaison entre ce que donneraient l'application de la méthode du « facteur de capacité » et celle des coefficients de sécurité utilisée actuellement.

#### *Efforts dynamiques dans les câbles.*

Le contrôle des efforts dynamiques dans les câbles semble avoir fait des progrès par l'utilisation d'appareils enregistreurs des efforts instantanés, placés en dessous des molettes. La mesure de ces efforts est très intéressante, car on peut ainsi se rendre compte des améliorations qui sont apportées pour diminuer ces sollicitations dynamiques, telles que rouleaux-guides élastiques pour les cages au lieu des mains-courantes ordinaires, les mains-courantes s'alignant automatiquement (communication N° 2, 2<sup>me</sup> partie).

La limite de fatigue paraît être 25 % de la charge de rupture, valeur qu'il ne faut absolument pas dépasser si l'on veut avoir un service convenable pour le câble. Cette limite tient compte des différentes sollicitations et en particulier des sollicitations dynamiques. Il est donc du plus haut intérêt d'en connaître la valeur.

#### *Contrôle en service.*

La grande nouveauté dont il a été question est celle du contrôle non destructif par les procédés électroniques (Canada, Ruhr, Pays-Bas). Malheureusement aucun renseignement positif n'a pu être donné, ce qui paraît indiquer que ces méthodes n'ont pas encore donné satisfaction.

Une méthode de contrôle en service qui a suscité un grand intérêt est la méthode belge de l'ouverture des câbles en service, qui a permis d'augmenter

fortement la sécurité et la durée des câbles (communication N° 9).

On a beaucoup apprécié les essais dits de résilience (communication N° 5) en ce sens qu'ils constituent une méthode pour prévoir le moment de l'enlèvement des câbles. Cette méthode se base malheureusement sur des essais de bouts coupés à la patte des câbles.

Les communications 6 et 10 font état de données empiriques (comptage des fils brisés extérieurs) pour prévoir le remplacement des câbles, mais il semble que ces méthodes soient sujettes à caution.

#### *Installations d'extraction.*

La grosse question à l'ordre du jour en Grande-Bretagne est celle de l'utilisation des poulies Koepe.

Il n'est pas possible ici d'analyser convenablement les nombreux renseignements relatifs aux coefficients de frottement, aux pressions unitaires, aux garnitures de gorges de poulies. Cette analyse sera faite à une autre occasion mais, dès à présent, il semble qu'il faille s'attendre à une offensive des câbles clos dont les qualités semblent s'approprier particulièrement au fonctionnement sur les gorges de poulies Koepe : adhérence convenable, lubrification discrète, résistance remarquable aux pressions unitaires, compacité de la section, longue durée de service, etc. Un câble clos a fonctionné avec satisfaction sur poulie Koepe (sur tour d'extraction) à la mine Murton (voir communication N° 2, 2<sup>me</sup> partie) et un autre est en cours d'essais à la mine Emma 3 des Mines de l'Etat Hollandais.

Un grand nombre d'installations importantes à tambours présentent cette caractéristique que les câbles s'enroulent tous deux en corde haute, soit en tambours cylindro-coniques, soit en tambours cylindriques. (Cas de la machine puits des Sartis, charbonnages d'Hensies-Pommerœul.)

#### *Graissage.*

Rien de saillant n'a été dit concernant le graissage. Une chose qui mérite cependant de retenir l'attention est le procédé récemment adopté en Angleterre et en Amérique, consistant en l'addition d'agents « inhibiteurs » aux lubrifiants légers; certains de ces produits ont la propriété de porter le lubrifiant directement à la surface du métal et d'empêcher l'accès de l'humidité à cette surface. Ces lubrifiants légers s'appliquent beaucoup plus facilement que les lubrifiants épais et les résultats obtenus avec eux seraient encourageants.

#### *Essais.*

On a insisté sur le besoin de normalisation des machines et des méthodes d'essais pour fils et des manières d'interpréter les résultats obtenus. On a signalé les méthodes d'essais nouvelles, permettant de mettre en évidence les propriétés élastiques ou plastiques des fils d'acier.